

تعیین ضریب پخشیدگی آب و منحنیهای پیشروی جبهه رطوبتی در سه خاک استان اصفهان

فرهاد موسوی و عبدالحمید رضائی

به ترتیب استادیار و مربی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ وصول بیست و ششم آذرماه ۱۳۶۸

چکیده

برای بررسی جریان آب در خاکهای غیر اشباع، منحنی ضریب پخشیدگی آب در خاک، $D(\theta)$ ، مورد نه راست • در این آزمایش، ضریب پخشیدگی آب در سه خاک از استان اصفهان شامل لورک نجف آباد، مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان و اردستان (به ترتیب دارای بافت رس سیلنتی، لوم شنی و لوم رسی شنی) به روش بروس و کلوت بررسی شد • لوله های شیشه‌ای آزمایش، با قطر داخلی ۰/۷۵، ۱/۳، ۱/۵۵ و ۲/۳۵ سانتیمتر و طول ۱۵۰ سانتیمتر، به اندازه های ۵ سانتیمتری بریده و با چسب کاغذی به هم متصل شدند • خاک الک شده به طور یکنواخت در داخل لوله ها ریخته شد • یک بطری ماریوت آب مورد نیاز آزمایش را تامین می‌کرد • لحظه شروع آزمایش با کرومومتر یادداشت و محل جبهه رطوبتی علامت گذاری گردید • پس از ۲۵ ساعت حرکت آب در خاک، با کاردک تیز قطعات لوله از هم جدا و رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک هر قطعه اندازه گیری شد • منحنی های رطوبت حجمی در مقابل فاصله رسم شد و با استفاده از فرمول بروس و کلوت مقادیر ضریب پخشیدگی برای مقادیر مختلف رطوبت محاسبه شد • منحنی محل جبهه رطوبتی برای هر سه خاک و سه قطر لوله رسم گردید و معادلات همبستگی آنها بدست آمد •

نتایج نشان داد که: الف) مقدار ضریب همبستگی در رطوبت های پائین کم بوده و با افزایش رطوبت بتدریج بر مقدار آن افزوده می‌شود، ب) پس از ۲۵ ساعت جبهه رطوبتی در خاک لوم شنی بیشتر از دو خاک دیگر پیشروی کرده است و ج) میزان ضریب پخشیدگی لوله های با قطر مختلف متفاوت است •

مقدمه

تغییر در میزان رطوبت بافت متخلخل بازا، $d\theta / dh_t$ یک واحد تغییر در بار مکش یا تنش رطوبتی است • رابطه سرعت حرکت آب، V ، (مثلاً "در جهت محور X") و ضریب پخشیدگی نیز به صورت زیر می‌باشد:

$$V = -D \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad [2]$$

از معادله ۲، که اهمیت فیزیکی D را بیان می‌کند، چنین استنباط می‌شود که حجم آب عبوری از یک مقطع

برای بررسی جریان آب در خاک غیر اشباع — منحنی ضریب پخشیدگی^۱، $D(\theta)$ ، نیاز می‌باشد • ضریب پخشیدگی طبق رابطه زیر تعریف شده است (۷):

$$D = K \frac{dh_t}{d\theta} = K / (d\theta / dh_t) \quad [1]$$

در معادله فوق، K و $dh_t / d\theta$ تابعی از رطوبت خاک (θ) می‌باشند • پارامتر K همان هدایت موئینگی و

با جاگذاری متغیر λ در معادله ۳، این معادله به یسك معادله دیفرانسیل خطی تبدیل می‌شود:

$$-\frac{\lambda}{2} \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(D \frac{d\theta}{d\lambda} \right) \quad [9]$$

که با انتگرال گیری از آن نسبت به :

$$-\int_{\theta_i}^{\theta_x} \frac{\lambda}{2} d\theta = \int_{\lambda_i}^{\lambda_x} \frac{d}{d\lambda} \left(D \frac{d\theta}{d\lambda} \right) d\lambda \quad [10]$$

ویا:

$$-\frac{1}{2} \int_{\theta_i}^{\theta_x} \lambda d\theta = D (\theta_x) \left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)_{\theta_x} - D (\theta_i) \left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)_{\theta_i} \quad [11]$$

که $(d\theta/d\lambda)_{\theta_x}$ و $(d\theta/d\lambda)_{\theta_i}$ به معنی این است که $d\theta/d\lambda$ در $\theta = \theta_x$ و $\theta = \theta_i$ ارزیابی می‌شوند. قسمت

دوم سمت راست معادله ۱۱ نیز بر اساس شرط مسرزی

معادله ۸ برابر صفر است. پس:

$$D (\theta_x) = -\frac{1}{2} \left(\frac{d\lambda}{d\theta} \right)_{\theta_x} \int_{\theta_i}^{\theta_x} \lambda d\theta \quad [12]$$

بروس وکلوت (۳) مقدار $D(\theta)$ را از اطلاعات آزمایشی

به صورت زیر ارزیابی کردند:

الف) رسم θ در مقابل λ ، ب) اندازه گیری $(d\theta/d\lambda)_{\theta_x}$

از این منحنی و ج) ارزیابی $\int \lambda d\theta$ بایک روش تقریبی.

رطوبت خاک را نیز با قطعه قطعه کردن لوله افقی و

به طریق وزنی بدست آوردند. این روش تعیین رطوبت

خاک بعداً توسط محققین دیگر (۴، ۵ و ۱۰) توسط

دستگاه اشعه گاما انجام گرفت. ضرائب پخشیدگی

بدست آمده از دو روش قطعه کردن لوله و اشعه گاما

بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و قابل اطمینان می‌باشند

(۱۰).

از آنجا که در ایران دستگاه اشعه گاما در اختیار

همگان نیست، به نظر می‌رسد که روش قطعه قطعه کردن

لوله جهت تعیین رطوبت خاک عملی باشد. هدف این

مقاله تعیین ضریب پخشیدگی آب و منحنیهای پیشروی

جبهه رطوبتی در سه خاک استان اصفهان است.

فرضی يك سانتیمتر مربعی خاک در جهت عمود بر محور

X برابر است با D- ضربدر گرادیان رطوبت خاک. بر-

خلاف جریان گرما در خاک، که در آن مقدار D ثابت فرض

می‌شود، مقدار D در حرکت آب در خاک غیر اشباع تابعی

از رطوبت خاک می‌باشد.

برای تعیین D از روش بروس وکلوت (۳) استفاده

فراوانی می‌شود. معادله این روش به صورت زیر است:

$$-\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(D - \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad [3]$$

که θ = میزان رطوبت حجمی خاک (سانتیمتر مکعب آب

در سانتیمتر مکعب خاک).

x = فاصله افقی (سانتیمتر)

و D = ضریب پخشیدگی آب در خاک (سانتیمتر مربع بر

ثانیه یا سانتیمتر مربع بر دقیقه).

شرایط مرزی معادله ۳ عبارتند از:

۱) $\theta(x, t) = \theta_i$ برای $x > 0$ و $t = 0$ [الف ۲]

۲) $\theta(x, t) = \theta_s$ برای $x = 0$ و $t \geq 0$ [ب ۲]

که θ_i رطوبت اولیه و θ_s رطوبت اشباع خاک است.

در اینجا تبدیل (یا تغییر متغیر) بولتزمن انجام

می‌گیرد (۳) و فرض می‌شود که:

$$\theta = f(\lambda) \quad [4]$$

که λ تابعی از x و t است:

$$\lambda = st^{-1/2} \quad [5]$$

در رابطه با معادله ۴، شرایط مرزی فوق به صورت زیر

نوشته می‌شوند:

۱) $\theta = \theta_i$ برای $\lambda = \infty (\lambda \rightarrow \infty)$ [۶]

۲) $\theta = \theta_s$ برای $\lambda = 0$ [۷]

همچنین شرط مرزی سوم نیز به صورت زیر نوشته

می‌شود:

$$3) -\frac{d\theta}{d\lambda} = 0 \text{ برای } \theta = \theta_i \quad [8]$$

بررسی منابع :

اشکرافت و همکاران (۱) روشی عددی را جهت حل معادله پخشیدگی رطوبت ارائه داده‌اند که در مورد خاک غیریکنواخت و با طول محدود نیز کاربرد دارد. نتایج این کار با روش استفاده از تبدیل بولتزمن و نتایج تجربی مقایسه شده و تشابه جوابها به ثبوت رسیده است. ویسلرو همکاران (۱۱) روشی را برای اندازه گیری ضریب پخشیدگی آب در خاک پیشنهاد داده‌اند که بر اساس اندازه گیری رطوبت خاک با اشعه گاما به صورت تابعی از زمان در یک نقطه ثابت در یک سیستم نفوذ آب به خاک افقی بنا شده است. نتایج نشان داد که مقادیر ضریب پخشیدگی تغییرات زیادی، بخصوص در رطوبتهای بالا دارد. سلیم و همکاران (۱۰) میزان رطوبت را در یک نقطه ثابت در طول زمان توسط دستگاه اشعه گاما اندازه گیری کرده و آن را با میزان رطوبت در یک زمان ثابت در طول لوله افقی خاک مقایسه کردند. مقادیر ضریب پخشیدگی بدست آمده از این دو روش مشابهت خوبی داشته و آن را دلیل بر اعتبار معادله جریان آب در خاک غیر اشباع دانستند. براندیک و کرکه‌سام (۲) مقادیر ضریب پخشیدگی و رطوبت را برای دو خاک آلی و شنی در یک زمان ثابت با قطعه قطعه کردن لوله افقی خاک (به طول کلی ۵۰ سانتیمتر و قطر ۱/۵ سانتیمتر) بدست آوردند. تفاوت این ضریب و همچنین مقدار آب جذب شده در این دو خاک بسیار زیاد بود و نشان داده شد که منحنی ضریب پخشیدگی در مقابل رطوبت برای هر خاک باید تهیه گردد. همچنین مقایسه نتایج آزمایش آنها با راه حل فیلیپ (۷) برای نفوذ افقی تطابق خوبی را نشان داد. ضریب پخشیدگی در مورد نفوذ آب به خاک عمودی (۵)، حرکت بخار آب (۶) و پخش مواد شیمیائی در خاک (۹) نیز کاربرد دارد. گرچه از لحاظ تئوری باید

طول لوله افقی پس از اتصال به منبع آب تا بی‌نهایت ادامه داشته باشد، اما محققین برای کارهای عملی از لوله های افقی با طول محدود استفاده می‌کنند (۲، ۳، ۴ و ۸).

مواد و روشها

در این آزمایش (که در تابستان ۱۳۶۸ انجام شد)، ضریب پخشیدگی آب درسه خاک از مناطق لورک نجف آباد (بافت رس سیلنتی)، مزرعه دانشگاه صنعتی اصفهان (بافت لوم شنی) و اردستان (بافت لوم رسی شنی) مورد بررسی قرار گرفت. هدایت الکتریکی این خاکها به ترتیب ۱/۷، ۱ و ۱/۴ میلی موز بر سانتیمتر، درجه اسیدی آنها ۷/۶، ۷/۲ و ۷/۳ و هدایت الکتریکی آب مورد استفاده در آزمایش ۰/۶۵ میلی موز بر سانتیمتر بود. لوله‌های آزمایش از جنس شیشه و به قطرهای داخلی ۱/۳، ۰/۷۵، ۱/۵۵ و ۲/۳۵ سانتیمتر و به طول ۱۵۰ سانتیمتر بود. هر آزمایش درسه تکرار انجام و بهترین نتایج از لحاظ یکنواختی توزیع خاک در لوله و کمترین پراکنش نقاط اطراف منحنی‌ها انتخاب گردید. برای شروع آزمایش ابتدا لوله های شیشه‌ای به اندازه های ۵ سانتیمتری بریده و با چسب کاغذی به هم متصل شدند. طبیعی است هرچه طول قطعات کوچکتر باشد نتایج بهتری حاصل می‌گردد، اما بریدن شیشه‌ها به قطعات کوچکتر در اینجا امکان نداشت. رطوبت اولیه این خاکها با استفاده از آن بدست آمد. نمونه خاک خشک شده در هوا را پس از عبور از الک ۲ میلی متری، توسط لوله باریکی در داخل لوله شیشه‌ای ریخته و با تکان دادن آن سعی شد بطور یکنواخت در لوله متراکم گردد. لوله شیشه‌ای پراز خاک بر روی میزی صاف و کاملاً تراز قرار داده شد و توسط لوله‌ای پلاستیکی به یک بطری ماریوت

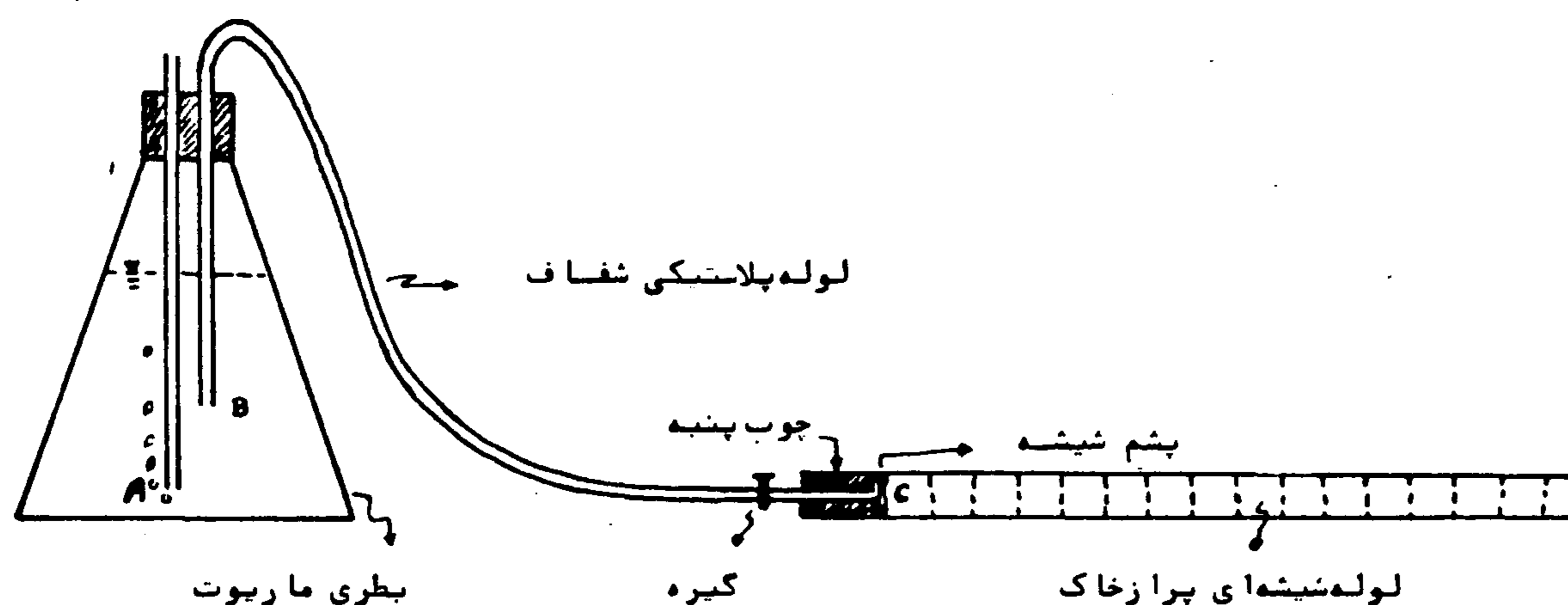
به لوله دیگر بود. بطور کلی، انحراف معیار مقادیر جرم مخصوص ظاهری قطعات مختلف در لوله ها از ۰/۰۵۷ گرم بر سانتیمتر مکعب کمتر شد. به این ترتیب یقین حاصل گردید که نمونه ها به خوبی در لوله های آزمایش قرار داده شده اند و خاکها یکنواختند. منحنی های مقدار رطوبت حجمی در مقابل فاصله رسم شده و با استفاده از فرمول ۱۲ منحنی ضریب پخشیدگی آب در مقابل میزان رطوبت رسم گردید. منحنی های فاصله جبهه رطوبتی تا مبدأ نفوذ آب نسبت به جذر زمان نیز برای تمام خاکها رسم شد و معادلات همبستگی آنها بدست آمد.

نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از لوله شیشه ای با قطر ۰/۷۵ سانتیمتر به لحاظ مشکل بودن اتصال لوله به بطری ماریوت، غیر یکنواختی خاک داخل لوله، تغییرات شدید مقادیر رطوبت قطعات مختلف پراکنش زیاد مقادیر ضریب پخشیدگی در اطراف منحنی مربوطه چندان رضایت بخش نبود و از آزمایش حذف گردید. در شکل های ۲ تا ۴ نتایج درصد رطوبت حجمی در مقابل فاصله و مقدار ضریب پخشیدگی آب در مقابل درصد رطوبت حجمی نشان داده شده است. در قسمت (الف)

پراز آب وصل گردید (شکل ۱). این اتصال به طریقی انجام گرفت که هیچگونه ارتفاع آبی بر روی مرکز لوله شیشه ای وجود نداشته باشد (نقطه A و C در یک ارتفاع قرار گرفتند). در این صورت آنقدر آب وارد خاک می شود که خاک می تواند جذب کند (۷). ابتدای لوله پلاستیکی توسط چوب پنبه و مقدار کمی پشم شیشه به خاک متصل گردید. انتهای دیگر لوله پراز خاک باز و در ارتباط با هوا بود. لحظه شروع آزمایش و ورود آب به خاک با کرومومتر یادداشت گردید و محل جبهه رطوبتی در زمانهای مختلف علامت گذاری شد. پس از ۲۵ ساعت، اتصال خاک به بطری ماریوت را قطع کرده و با کاردک تیز سریعاً قطعات لوله شیشه ای را از هم جدا کرده وزن خاک مرطوب همراه با قطعه لوله تعیین گردید. قطعات لوله حاوی خاک مرطوب در آن 105°C خشک گردیدند. با تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک هر قطعه و درصد رطوبت وزنی آن، رطوبت حجمی محاسبه گردید.

جدول ۱ میانگین و انحراف معیار جرم مخصوص ظاهری سه خاک مورد مطالعه را نشان می دهد. در این جدول دیده می شود که خاکهای لورک و اردستان در لوله ۱/۵۵ سانتیمتری دارای انحراف معیار کمتری نسبت به دو لوله دیگر هستند. لوله ۲/۳۵ سانتیمتری در هر سه خاک دارای میانگین جرم مخصوص ظاهری کمتری نسبت



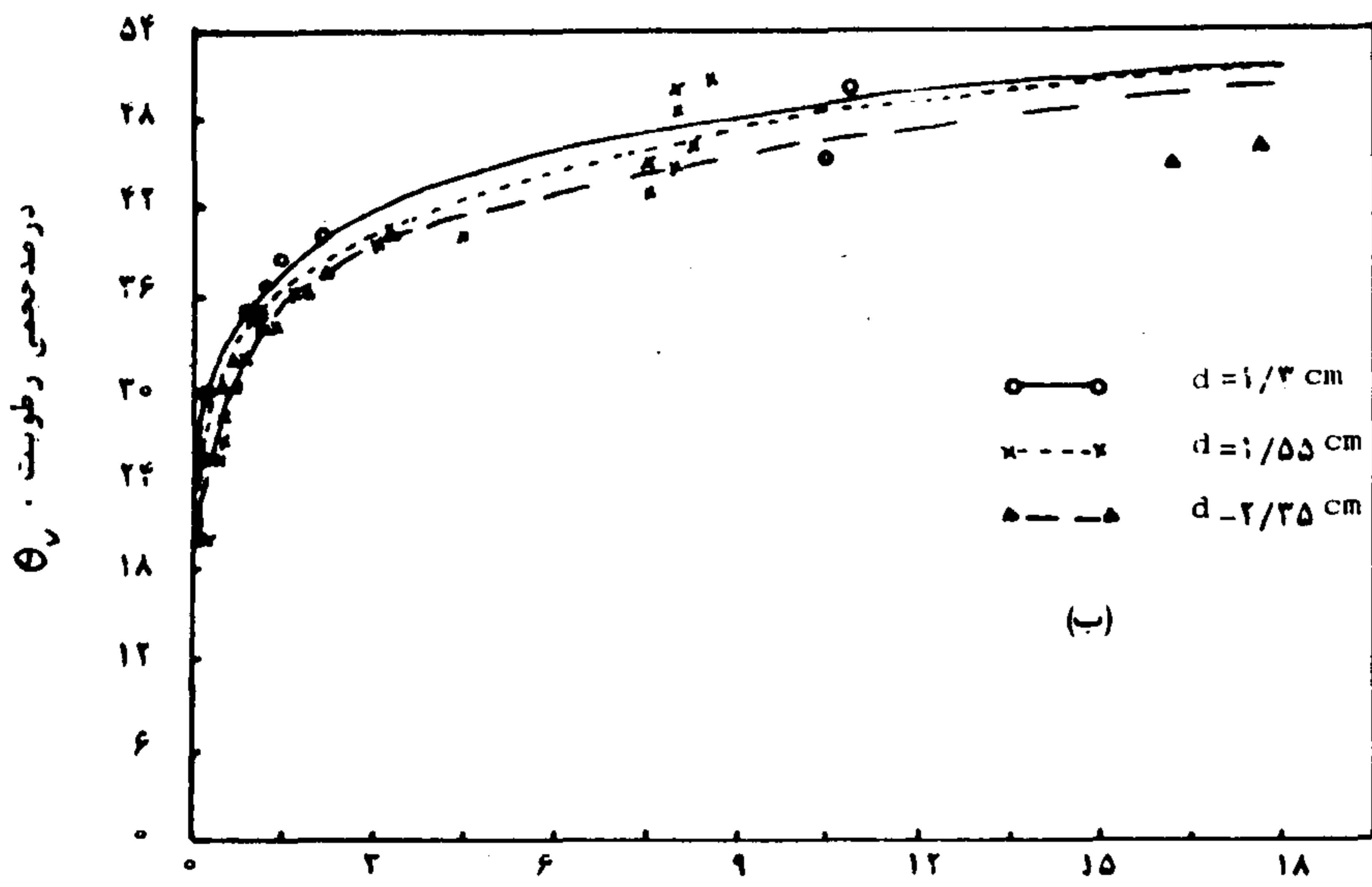
شکل ۱- شمای دستگاه تعیین ضریب پخشیدگی و پیشروی جبهه رطوبتی.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب) خاکهای مورد مطالعه

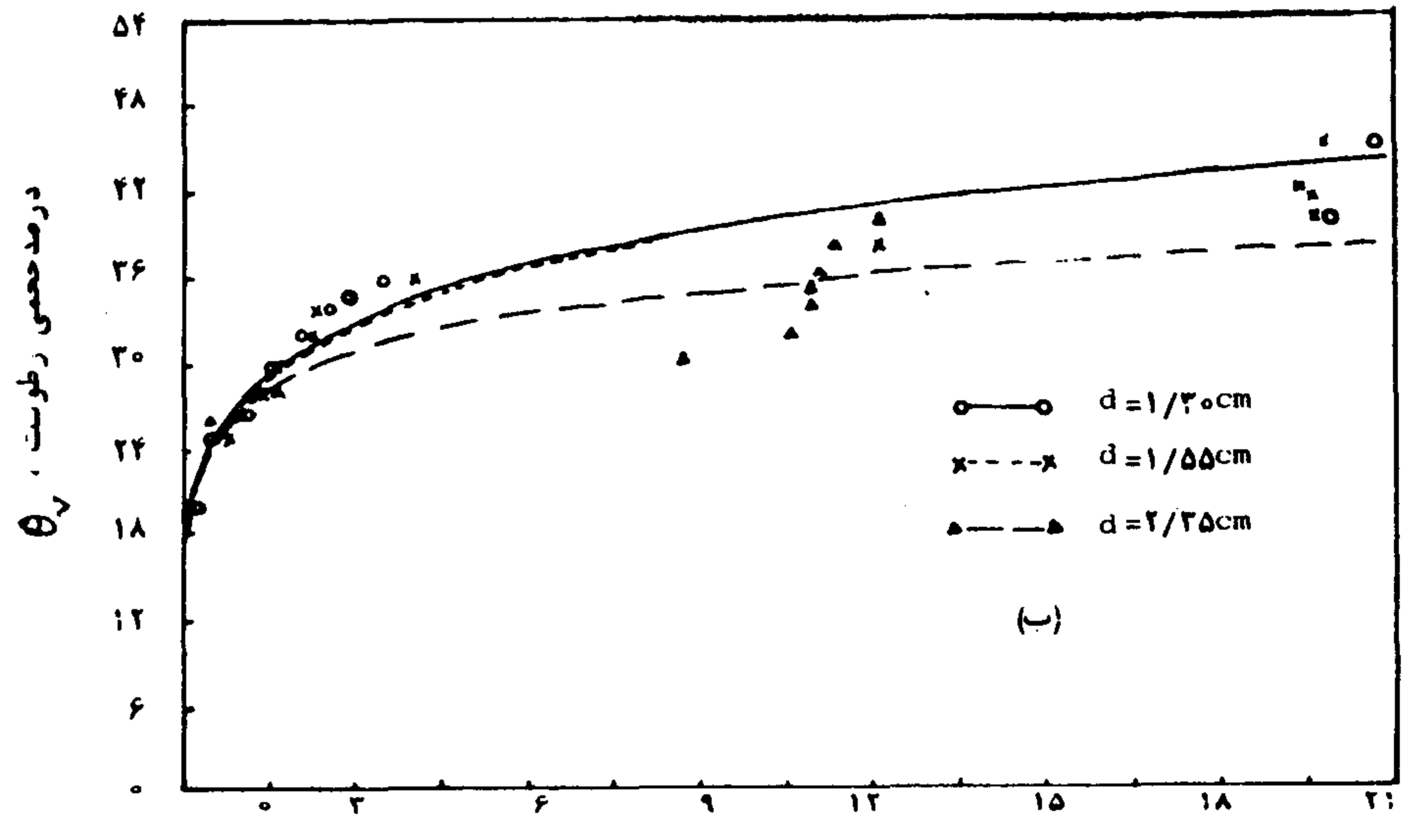
قطر لوله (سانتیمتر)	خاک دانشگاه		خاک اردستان		خاک لورک	
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین
۱/۳	۱/۵۶۵	۰/۰۴۷	۱/۴۶۰	۰/۰۵۶	۱/۳۷۹	۰/۰۵۷
۱/۵۵	۱/۵۸۵	۰/۰۴۷	۱/۴۳۲	۰/۰۴۶	۱/۴۱۵	۰/۰۴۸
۲/۳۵	۱/۴۳۲	۰/۰۳۷	۱/۳۸۶	۰/۰۵۶	۱/۳۶۲	۰/۰۵۵

با یک شیب تند به رطوبت اولیه خاکها وصل شده است
(۷) میزان رطوبت اولیه خاکها به ترتیب ۱، ۱/۵ و ۲
درصد وزنی برای خاک دانشگاه، لورک و اردستان بود.

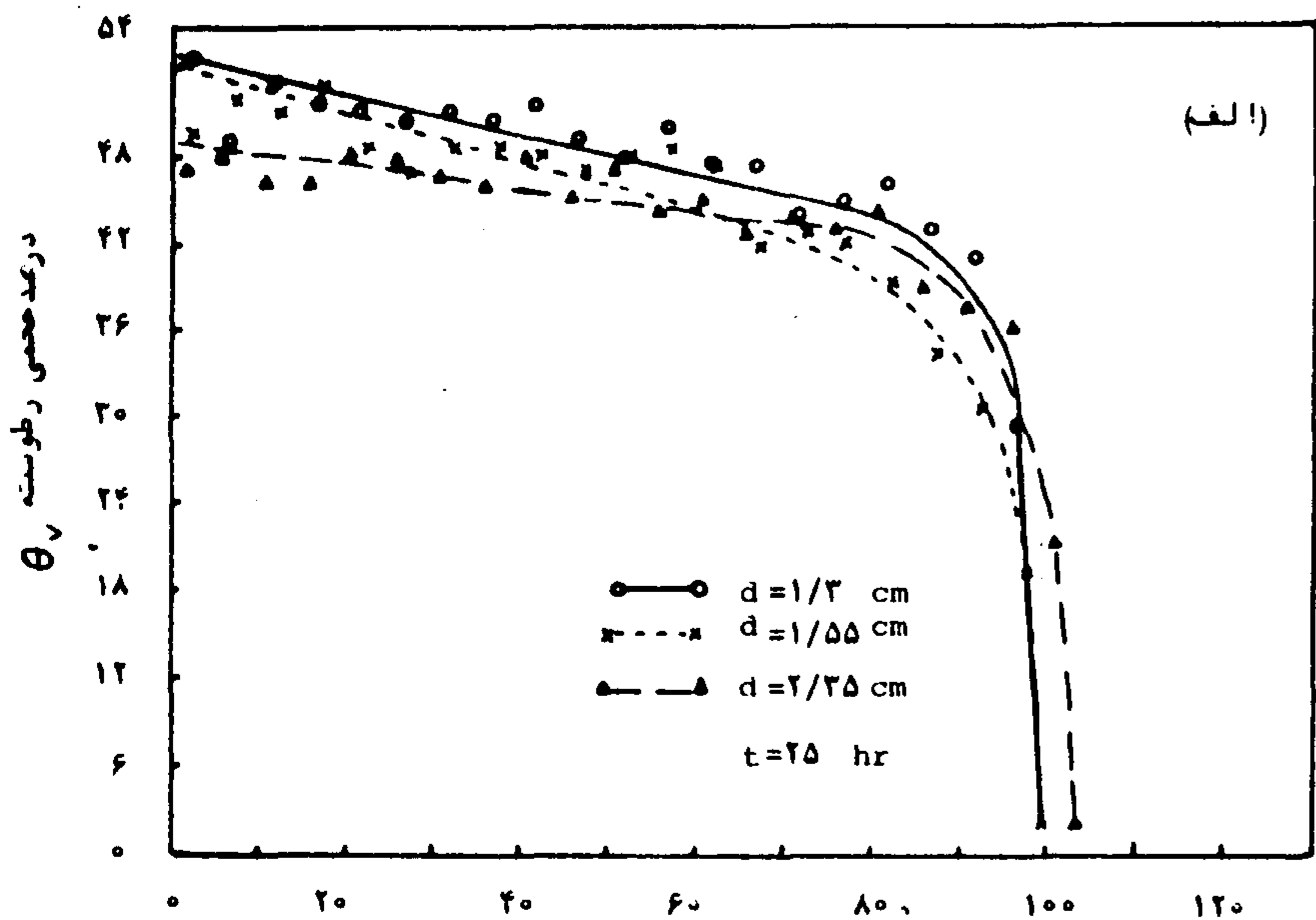
هرکدام از این شکلها دیده می شود که با افزایش فاصله
میزان رطوبت کم می شود. منحنی ها با بهترین برازش
بر روی نقاط آزمایش ترسیم شده اند. انتهای منحنی ها



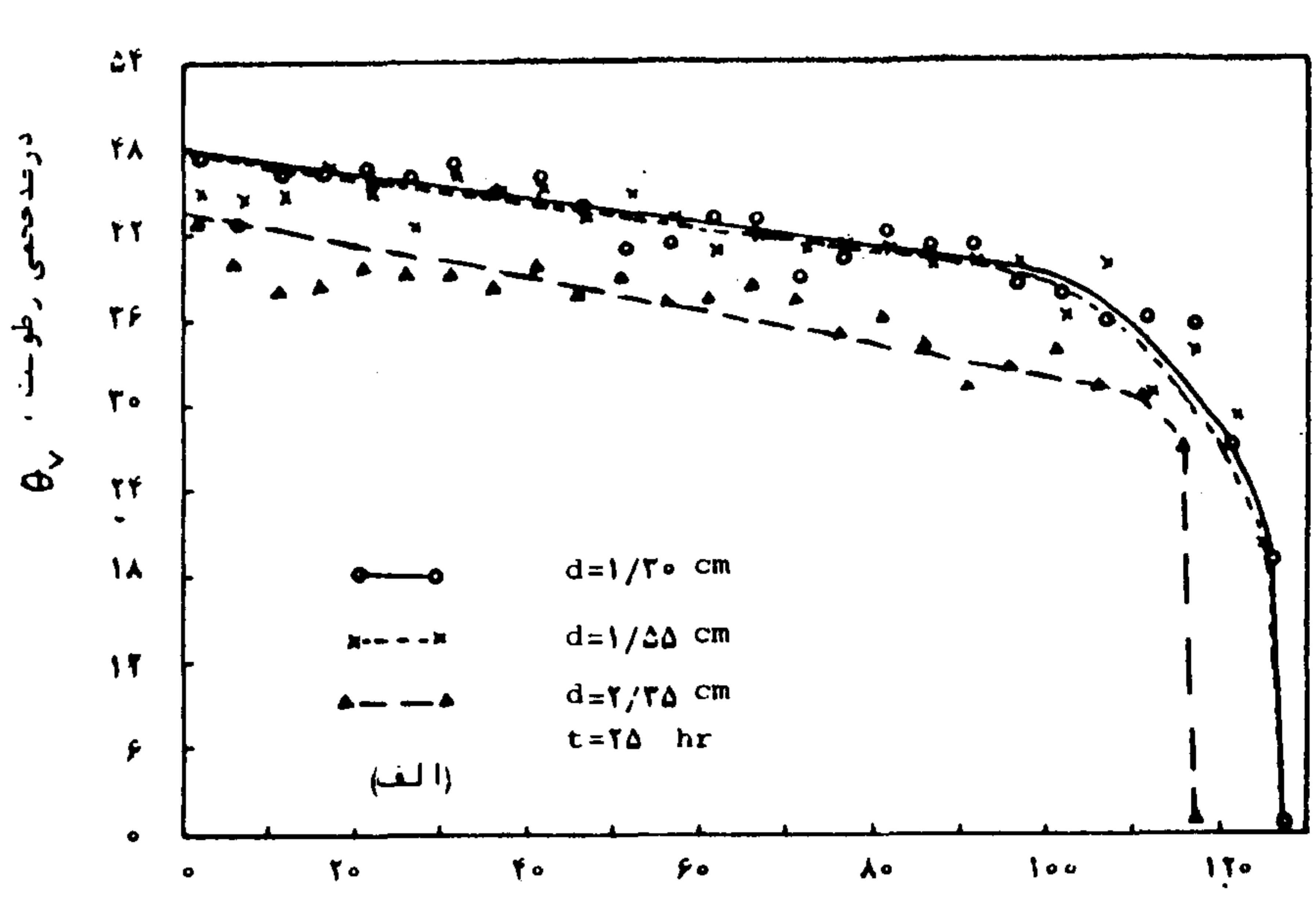
ضریب پخشیدگی، D، سانتیمتر مربع بر دقیقه



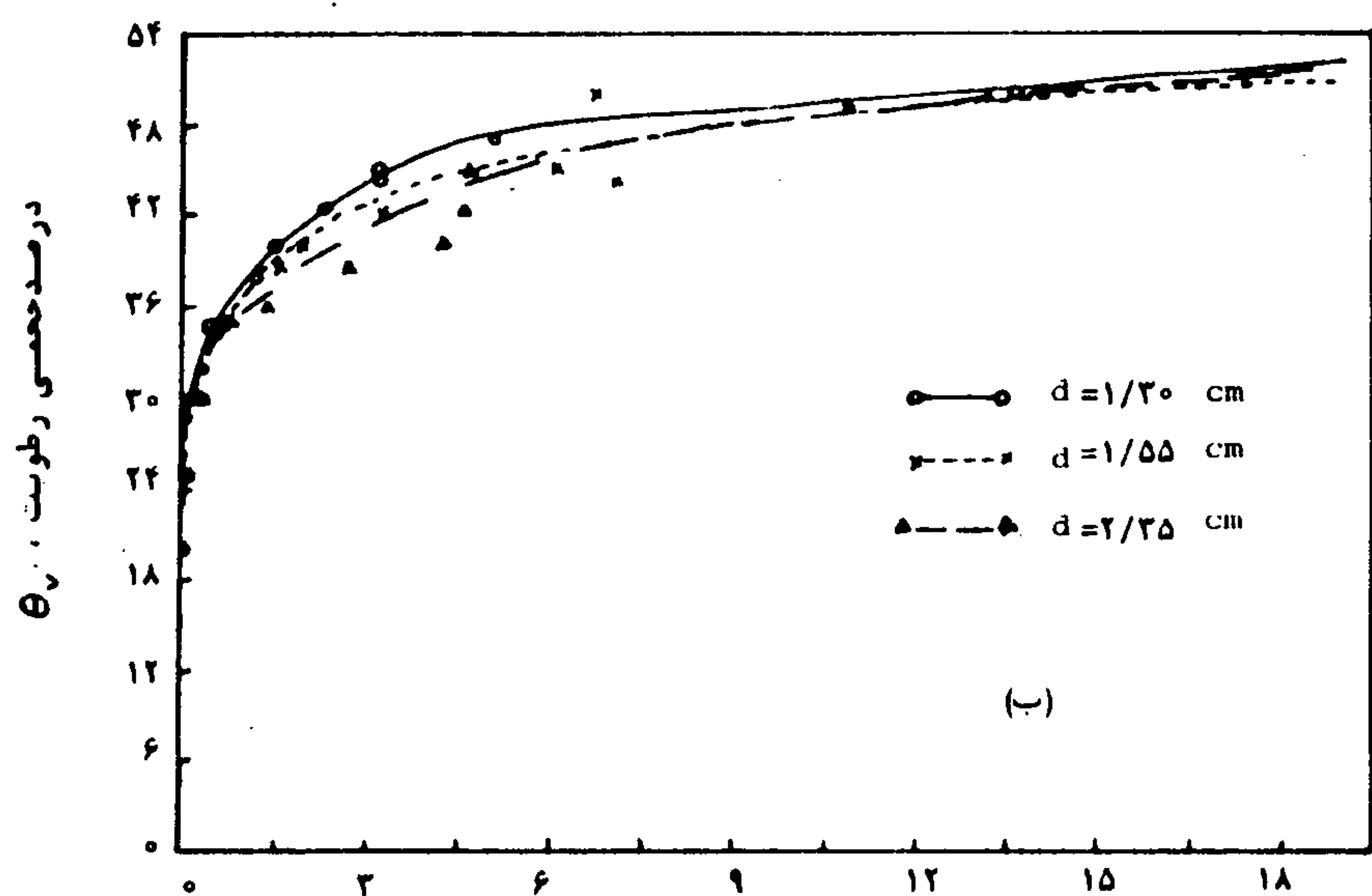
ضریب پخشیدگی، D، سانتیمتر مربع بر دقیقه



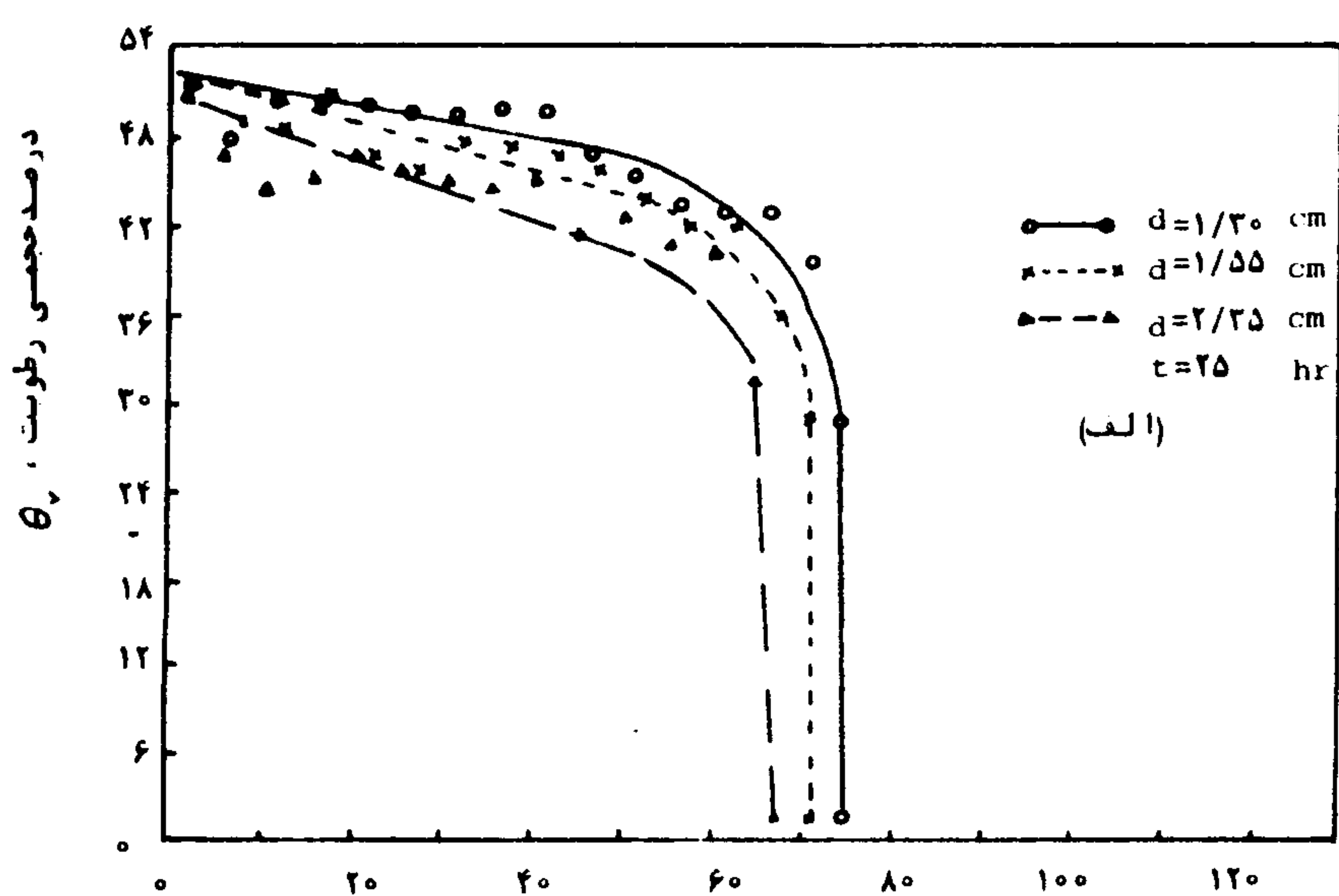
شکل ۳- رابطه ضریب پخشیدگی و فاصله با در صد حجمی رطوبت در
خاک اردستان (درصد وزنی رطوبت خاک اشباع = ۳۸/۵٪)



شکل ۲- رابطه ضریب پخشیدگی و فاصله با در صد حجمی رطوبت در
خاک دانشگاه (درصد وزنی رطوبت خاک اشباع = ۳۰/۵٪)



ضریب پخشیدگی، D، سانتیمترمربع بردقیقه



فاصله، x، سانتیمتر

شکل ۴- رابطه ضریب پخشیدگی و فاصله با درصد حجمی رطوبت

در خاک لورک (درصد وزنی رطوبت خاک اشباع = ۴۸٪)

به صورت خط مستقیم بوده و رابطه خطی بین این دو پارامتر را بیان می کنند. با مقایسه این شکلها دیده می شود که جبهه رطوبتی در خاک لوم شنی دانشگاه بیشتر از دو خاک سنگین تر دیگر نفوذ کرده است. به تعبیری دیگر، زمان رسیدن جبهه رطوبتی به یک فاصله معین در خاک لوم شنی کمتر از خاک رس سیلتی می باشد. این مسئله برای لوله ۱/۵۵ سانتیمتری در خاکهای مختلف شکل ۶- ب نشان داده شده است. معادلات خطوط شکلهای ۵ و ۶ در جدول ۳ ذکر گردیده اند. در این جدول نیز دیده می شود که ضریب همبستگی بسیار زیاد است. این معادلات شبیه به معادله $X=Nt^{(\frac{1}{2})} + a$

منحنی لوله ۲/۳۵ سانتیمتری عموماً "پائین تر" و منحنی لوله ۱/۳ سانتیمتری بالاتر از دو منحنی دیگر قرار دارد. از لحاظ تئوری، نقاط باید بر روی یک منحنی مشخص قرار گیرند. اما به دلیل بزرگ بودن طول قطعات لوله ها (۵ سانتیمتر طول) و عواملی نظیر چسبیدن خاک مرطوب به تیغه کاردک چنین نشده است.

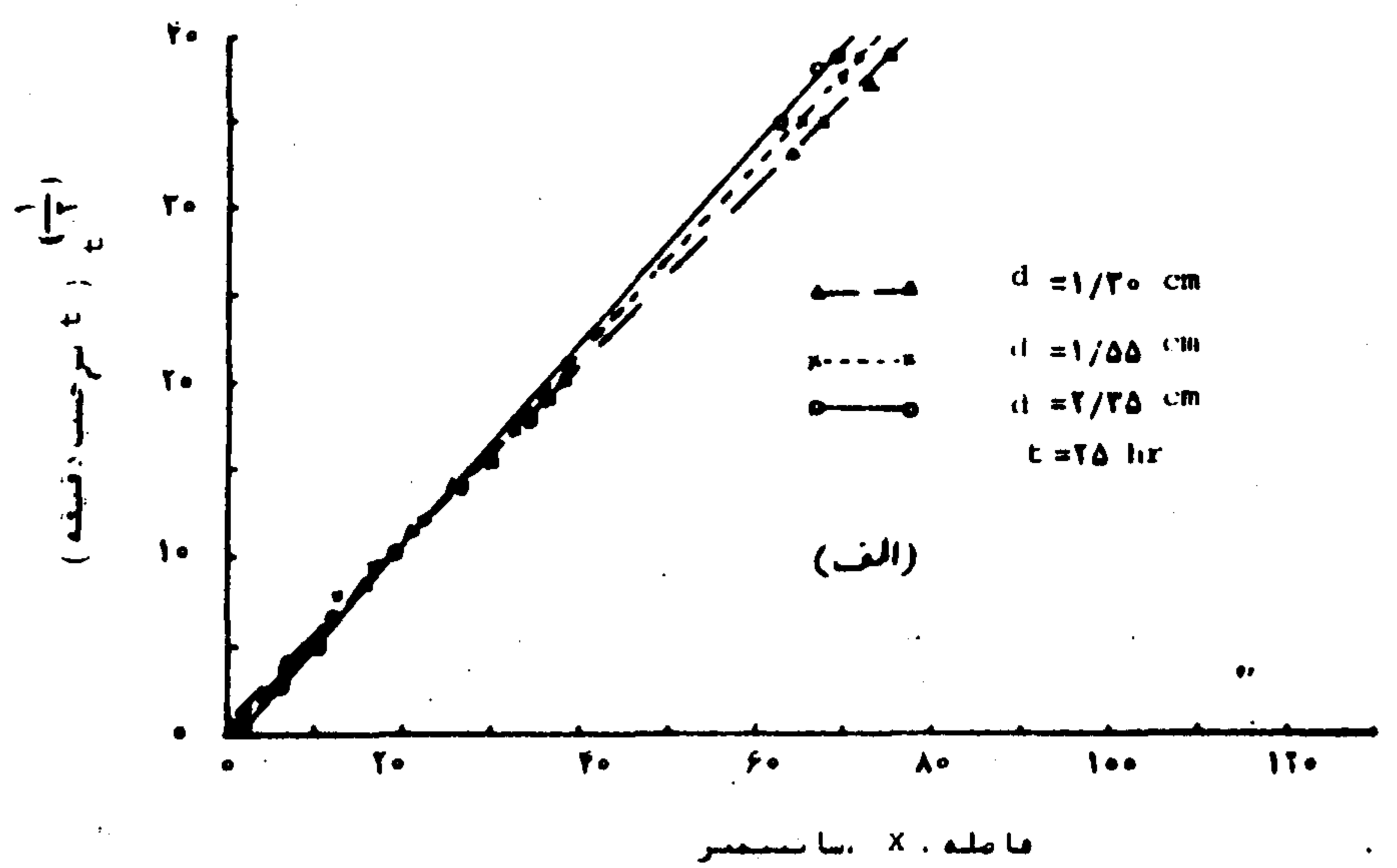
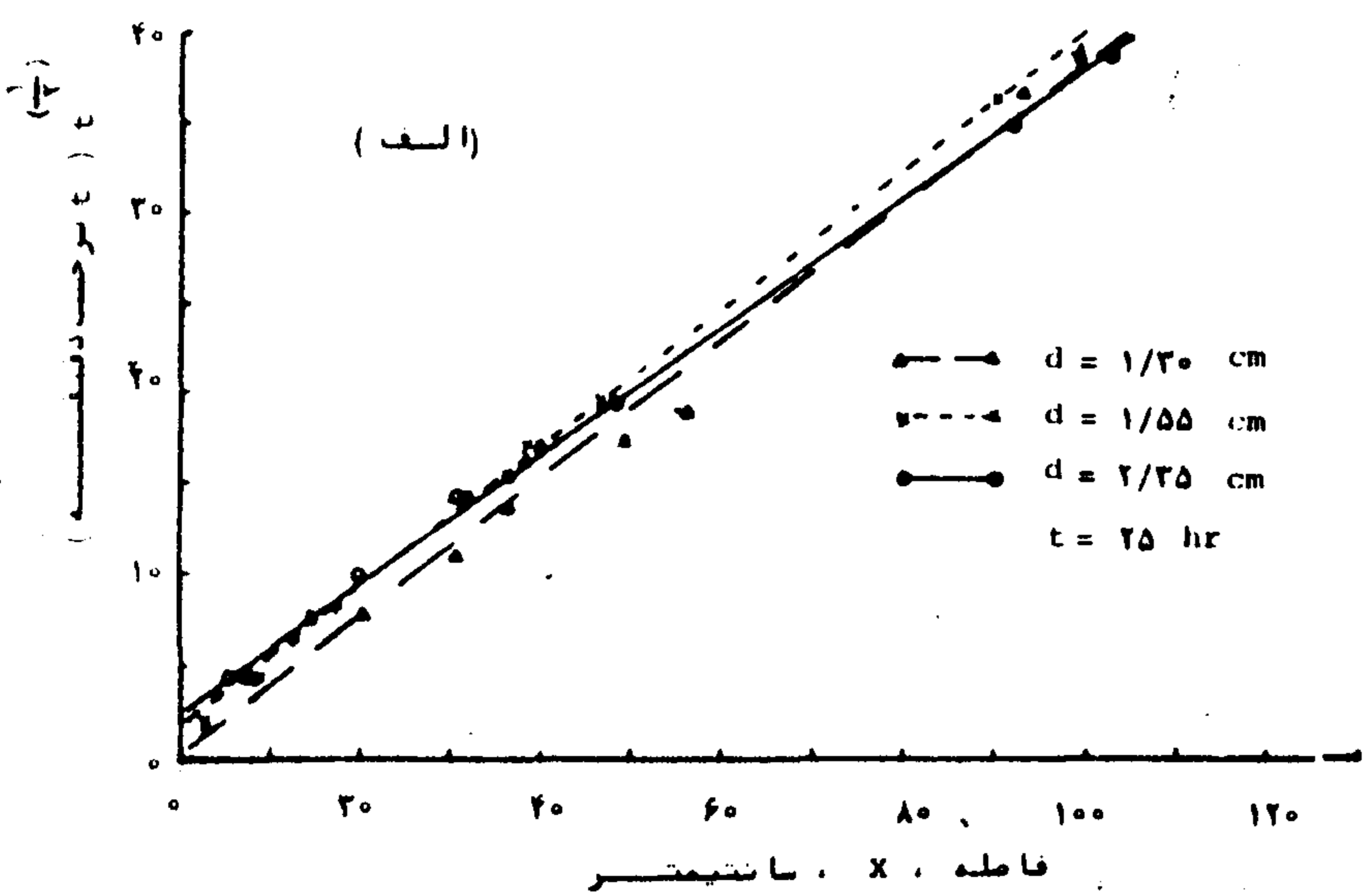
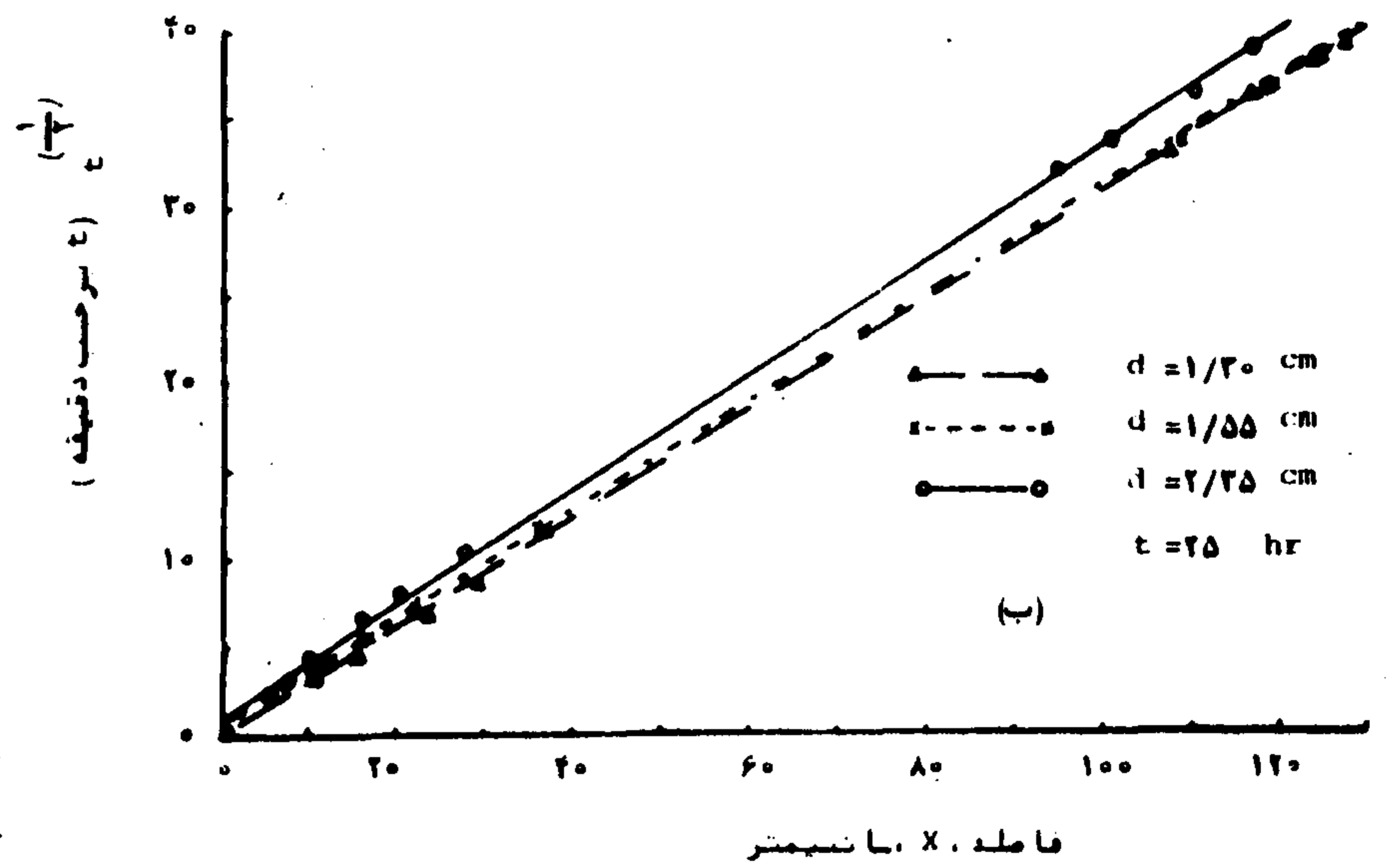
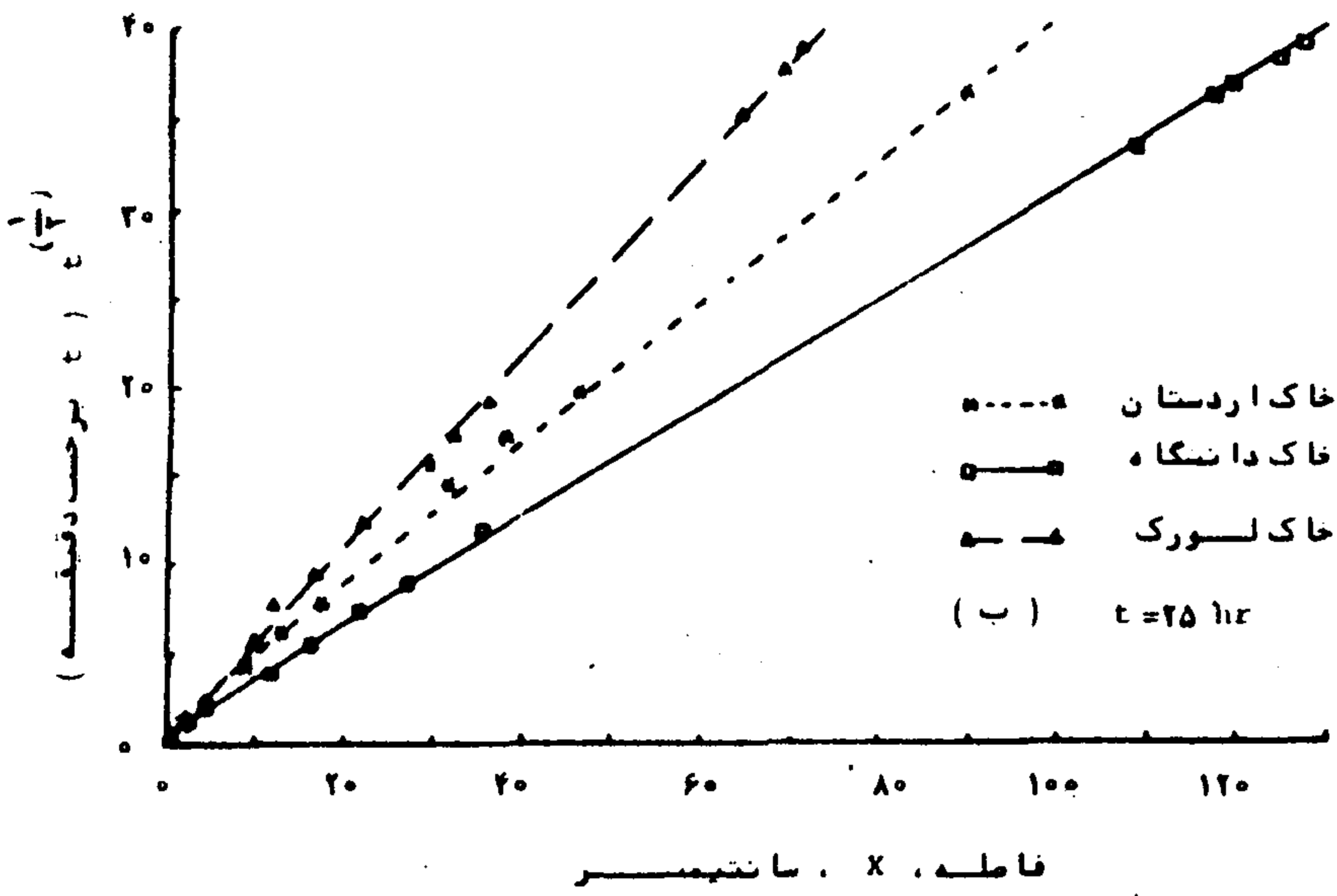
در قسمت (ب) شکلهای ۲ تا ۴ دیده می شود که ضریب پخشیدگی در رطوبتهای پائین کم بوده و با افزایش رطوبت به تدریج بر مقدار آن افزوده می شود. در رطوبت بین ۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی، مقدار ضریب پخشیدگی سریعاً زیاد شده و در نزدیکی رطوبت اشباع به حالت مجانب با محور افقی در می آید. در این قسمت نیز منحنی لوله ۲/۳۵ سانتیمتری در حد پائین شکل و لوله ۱/۳ سانتیمتری در حد بالاتر از دو منحنی دیگر قرار می گیرد. در رطوبتهای پائین تر از ۲۰ درصد مقدار ضریب پخشیدگی آب به قدری کم است که نقاط تقریباً بر روی محور عمودی قرار گرفته اند. مثلاً برای خاک لورک مقدار ضریب پخشیدگی در رطوبتهای ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۰/۰۰۱۱، ۰/۰۰۳۸ و ۰/۰۰۷۳ سانتیمتر مربع بردقیقه است. در این قسمت منحنیهای ترسیم شده دارای فرمولهای خاصی هستند که در جدول ۲ برای هر خاک و هر قطر مشخص شده اند. با توجه به جدول ۲ مشاهده می شود که لوله ۱/۵۵ سانتیمتری دارای ضریب همبستگی (r) بهتری نسبت به دو قطر دیگر است (البته تفاوت بین لوله ۱/۳ و ۱/۵۵ معنی دار نیست). رابطه بین فاصله افقی جبهه رطوبتی از مبدأ، نفوذ آب به خاک، x، و جذر زمان، $t^{(\frac{1}{2})}$ ، در شکلهای ۵ و ۶ نشان داده شده است. منحنیها تقریباً

جدول ۲- رابطه بین درصد رطوبت حجمی و ضریب پخشیدگی در خاکهای مورد مطالعه

قطر لوله (cm)	خاک دانشگاه	خاک اردستان	خاک لورک
۱/۳	$\theta = 0.274 + 0.053 \ln D$ $r = 0.989$	$\theta = 0.250 + 0.060 \ln D$ $r = 0.981$	$\theta = 0.285 + 0.048 \ln D$ $r = 0.974$
۱/۵۵	$\theta = 0.266 + 0.057 \ln D$ $r = 0.989$	$\theta = 0.225 + 0.068 \ln D$ $r = 0.983$	$\theta = 0.285 + 0.044 \ln D$ $r = 0.976$
۲/۲۵	$\theta = 0.271 + 0.037 \ln D$ $r = 0.908$	$\theta = 0.219 + 0.061 \ln D$ $r = 0.975$	$\theta = 0.265 + 0.052 \ln D$ $r = 0.934$

و مقدار x به صورت عددی مثبت یا منفی ظاهر گشته است. دلیل این امر شاید صحیح نبودن کامل فرضیاتی است که در اشتقاق فرمول حرکت افقی آب در خاک

شند کرکهام و پاورز (۷) و یا براندیک و کرکهام (۲) می باشد. نکته قابل ذکر در شکل های ۵ و ۶ و جدول ۳ این است که برای $t = 0$ باید مقدار $x = 0$ باشد، ولی چنین نشده



شکل ۶- پیشروی جبهه رطوبتی در خاک اردستان (الف) و لوله ۱/۵۵ سانتیمتری با خاکهای مختلف (ب)

شکل ۵- پیشروی جبهه رطوبتی در خاک لورک (الف) و دانشگاه (ب)

جدول ۳- روابط فاصله جبهه رطوبتی (سانتیمتر) و جذر زمان (دقیقه) برای خاکهای مورد مطالعه

قطر لوله (سانتیمتر)	خاک دانشگاه	خاک اردستان	خاک لورک
۱/۳	$X = 3/25 t^{1/2} + 0/754$ $r = 0/9999$	$X = 2/60 t^{1/2} + 0/44$ $r = 0/9994$	$X = 1/97 t^{1/2} - 1/13$ $r = 0/9998$
۱/۵۵	$X = 3/33 t^{1/2} - 1/83$ $r = 0/9999$	$X = 2/54 t^{1/2} - 2/42$ $r = 0/9998$	$X = 1/86 t^{1/2} - 0/184$ $r = 0/9999$
۲/۳۵	$X = 3/10 t^{1/2} - 3/2$ $r = 0/9995$	$X = 2/77 t^{1/2} - 6/03$ $r = 0/9997$	$X = 1/73 t^{1/2} + 1/291$ $r = 0/9999$

ناچیز کردن اثر پتانسیل ثقلی بر روی حرکت افقی آب
(۷)، داشتن ضریب همبستگی بالا در معادلات ضریب
پخشیدگی و رطوبت، در مطالعه حرکت افقی آب در خاک
غیر اشباع بر سایر قطرها ارجحیت داشته باشد.

غیر اشباع مورد استفاده قرار گرفته و همچنین سایبر
شرایط کاری در عمل باشد.
بطور کلی به نظر می رسد که لوله با قطر ۱/۵۵
سانتیمتر از لحاظ راحتی کار، یکنواختی خاک داخل آن،

REFERENCES:

- 1 - Ashcroft, G., D.D. Marsh, D.D. Evans, & L. Boersma. 1962. Numerical method for solving the diffusion equation: I. Horizontal flow in semi-infinite media. Soil Sci. Soc. Proc. 26: 522-525.
- 2 - Brandyk, T., & D. Kirkham. 1981. Examination of diffusivity theory for muck and sand. Annals of Warsaw Agricultural University, SGGW-AR Land Reclamation No. 19 PP. 3-8.
- 3 - Bruce, R.R., & A. Klute. 1956. The measurement of soil moisture diffusivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 458-462.
- 4 - Davidson, J.M., J.W. Biggar, & D.R. Nielsen. 1963. Gamma-radiation attenuation for measuring bulk density and transient water flow in porous materials. J. Geo. Res. 68: 4777-4783.
- 5 - Flocker, W.J., M. Yamaguchi, & D.R. Nielsen. 1968. Capillary conductivity and soil water diffusivity value from vertical soil columns. Agron. J. Vol. 60: 605-610.
- 6 - Grismer, M.E. 1987. Vapor adsorption kinetics and vapor diffusivity. Soil Science, 144(1): 1-5.

- 7 - Kirkham, D., & W.L. Powers. 1972. Advanced soil Physics. Wiley- Interscience, N.Y., 534 pp.
- 8 - Klute, A., F.D. Whisler, & E.J. Scott. 1965. Numerical solution of the nonlinear diffusion equation for water flow in a horizontal soil column of finite length. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 353-358.
- 9 - Sadeghi, A.M., D.E. Kissel, & M.L. Cabrera. 1988. Temperature effects on urea diffusion coefficients and urea movement in soil. Sci. Soc. Am.J. 52: 46-49.
- 10- Selim, H., D. Kirkham, & M. Amemiya. 1970. A comparison of two methods for determining soil water diffusivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 14-18.
- 11- Whisler, F.D., A. Klute, & D.B. Peters. 1968. Soil water diffusivity from horizontal infiltration. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 6-11.

Determination of Water Diffusivity and Wetting Front Curves
of Three Soils in Isfahan Province.

S.F. MOUSAVI and A.H. REZAEI

Assistant Professor and M.S., College of Agriculture Isfahan
University of Technology, Isfahan, Iran.

Received for Publication December 17, 1989.

SUMMARY

To study unsaturated flow in soil, water diffusivity curve, $D(\theta)$, is needed. In 1956, Bruce and Klute devised a method to measure water diffusivity in soil by infiltration of water in a horizontal soil tube. After Bruce and Klute, other researchers have done some research and used Gamma ray to determine moisture content and finally diffusivity coefficient. Since the Gamma-ray apparatus is not available to everyone in Iran, it seems that the following method is applicable to determine diffusivity coefficient in different soil moisture contents.

In this experiment, diffusivity coefficients of three soils from Lavark Najafabad Isfahan University of Technology's Farm and Ardestan (having texture of silty clay, sandy loam, and sandy clay loam, respectively) were analyzed. Soil tubes, with diameter of 1.3, 1.55, and 2.35 cm and length of 150 cm, were cut in 5 cm pieces and connected again by paper tape. Sieved soil was poured uniformly in the glass tubes. A mariotte bottle supplied the necessary water. The start of the experiment was recorded by a cornometer and the position of the wetting front was marked on the soil tube. After 25 hours, soil sections were separated by a sharp cutter and moisture content and bulk density of each section was measured. Curves of volumetric moisture content versus distance were drawn and diffusivity coefficients were calculated, using Bruce and Klute equation. Curves of wetting front position for three soils and three tube diameters were drawn and their regression equations were calculated.

The results showed that: a) the value of diffusivity coefficient is low in low moisture contents and increases with increasing soil moisture content, b) after 25 hours, wetting front of sandy loam soil has advanced more than the other two soils, c) the value diffusivity coefficients in different tubes are different, and d) the uniformity of soil compaction in the tubes was good and the standard deviation of the measured bulk density values was less than 0.057.